

# 湛水浸透条件下における細菌・糸状菌による飽和透水係数の低下およびその温度依存性について

関 勝寿\* 神谷準一\*\* 宮崎 毅\*

\*東京大学大学院農学生命科学研究科, 113-8657 文京区弥生 1-1-1

\*\*株式会社 博報堂, 108-8088 東京都港区芝浦 3-4-1

## 要 旨

湛水浸透条件下においては、微生物が増殖することによる土壌間隙の目詰まり、すなわちバイオクロッキング現象により、透水係数が低下することが知られている。この現象がどのように温度依存性を持つのかを実験的に調べた。豊浦砂を充填したカラムにグルコース溶液を連続的に飽和浸透させたときの飽和透水係数の変化を測定し、さらに好気性細菌数、糸状菌数、有機物量（強熱減量）の変化を調べた。温度条件は、15、20、25、30℃の4種類を設定し、実験期間は4、7、10日とした。15℃において飽和透水係数はほとんど変化しなかったが、20℃、25℃、30℃においては、実験開始後1日以降透水係数が指数関数的に低下した。その低下速度を比較したところ、25℃で最も透水係数低下速度が大きかった。有機物量、糸状菌数ともに、同様に25℃で最大の増加速度を示し、細菌数の増加速度は30℃で最大となった。このことから、カラム上層に蓄積した、多糖類と思われるゲル状の有機物質、そして糸状菌の菌糸が透水係数低下の要因となっていると推測された。

キーワード：バイオクロッキング、糸状菌、温度依存性、透水係数、有機物

## 1. はじめに

近年、地球温暖化問題が注目されている。Comiso (2003) は、人工衛星からの熱赤外測定によって得られた1981年から2001年の北極圏の地温データを解析した結果、1980年代よりも1990年代の温度上昇が大きいことを示した。IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change; 気候変動に関する政府間パネル) の第3次評価報告書では、温暖化現象が土壌へ与える影響として、土壌炭素・窒素の循環と水食・風食が取り上げられている(谷山, 2003)。このように、温度変化は土壌環境に様々な影響を与えるが、その中で、本研究では透水性の変化に着目する。

浸透速度は冬に小さく、夏に大きいとする現場の測定例は多い (Constantz et al., 1994; Cerda, 1999; Basher and Ross, 2001)。これは、温度が高くなると水の粘性係数が低下し、それにもなって飽和透水係数が粘性係数と反比例して大きくなるためであると説明されている。ところが、一方で浸透速度は冬よりも夏が小さいとする報告もある (Battikhi and Suleiman, 1999)。これは、温度が上昇することで土壌微生物の活性が高まり、その微生物が土壌間隙を目詰まりさせて飽和透水係数が低下するバイオクロッキング現象が関与していると考えられる。

バイオクロッキング現象とは、長期間の飽和浸透下に

において、土壌微生物が増殖し、微生物細胞および微生物が生成する多糖類等の代謝生成物質による間隙の目詰まりによって、飽和透水係数が低下する現象である (Allison, 1947; Baveye et al., 1998)。すなわち、Allison は透水性の長期変化を、透水性が低下する第1フェーズ、上昇する第2フェーズ、再び低下する第3フェーズに分けて説明し、第1フェーズは土粒子の膨潤と分散、第2フェーズは封入空気溶解、第3フェーズは団粒構造の変化、微生物が生成する粘着物や多糖類による間隙の目詰まりなどによるものとした。このバイオクロッキング現象は、様々な現場で観測されている。Davis et al. (1973) は、ため池に畜産排水を浸透させると、浸透速度が初期の48 inch / day から2週間で2.3 inch / day、4ヶ月で0.23 inch / day へと低下することを示した。Ragusa et al. (1994) は、灌漑水路の土壌に多糖類を生成する細菌および藻類を植え付けることで、バイオクロッキング現象によって透水係数を低下させれば、安価な浸透抑制技術を開発できるとして、カラム実験によりその効果を検証した。Ahmad et al. (1996) は、貯水地の底に、牛糞、草葉、土を重ねたサンドイッチ状の物質を敷き詰めることで、1年間で浸透速度を3分の1程度下げることができることを示した。さらに、近年では NAPL (Non-Aqueous Phase Liquid; 難溶解性液体) 汚染土壌の土着微生物による分解過程 (Bielefeldt et al., 2002)、廃棄物処分場におけ

る遮水物質として用いられるクレイライナー (Kamon et al., 2002)などの現場でこの現象が研究されている。

透水係数を低下させる目詰まり物質としては、主に細菌が研究の対象とされてきた。Gupta and Swartzendruber (1962) は、石英砂の長期浸透実験において、1.5℃では透水係数がほとんど変化しないが、23℃では細菌数の増加とともに透水係数が著しく低下することを示した。その際に、希釈平板法による細菌数測定で 1g あたり  $4 \times 10^5$  の細菌数を超えると透水係数が著しく低下することを示した。さらに、Vandevivere and Baveye (1992a) は、砂のカラムに好気性細菌 *Arthrobacter* sp. を接種したときの、バイオマス密度と透水係数低下の関係を示した。細菌のバイオマス量と透水係数低下の関係については、細菌がバイオフィルムを形成し、均一厚さで土粒子表面を覆うとするモデル (Taylor et al., 1990; Clement et al., 1996)では十分に説明ができない (Vandevivere et al., 1995)。その原因は、細菌は土粒子表面に小さなマイクロコロニーが点在する形で生息するためであるとされ、そういった生息形態を考慮に入れたモデルが提案されている (Seki and Miyazaki, 2001)。

バイオクロッキング現象をひきおこす微生物としては細菌に着目した研究が多いが、一方で糸状菌の菌糸が目詰まり物質としてはたらいっているという研究もある。Seki et al. (1996) は、関東ロームの水田からサンプリングした試料に連続的に栄養水を飽和浸透させることで、試料上端 1cm の箇所では飽和透水係数が 2 オーダー低下することを示した。そして、透水性が低下した部位では、細菌数は初期値から変化せず、糸状菌が 100 倍に増えた。この糸状菌の働きを調べるために、Seki et al. (1998) は細菌殺菌剤、糸状菌殺菌剤を添加した栄養水をそれぞれ流し、糸状菌のみ、細菌のみを増殖させたときのバイオクロッキング現象を室内連続浸透実験で検証した。その結果、細菌、糸状菌ともに目詰まり物質として透水係数を下げる働きを持っていることが示された。さらに、微生物が発生するガスが気泡として間隙を閉塞することも透水係数低下の 1 つの要因となっていることが示された。

細菌が生成する多糖類等の代謝生成物質も、バイオクロッキングを引き起こす物質である (Siegrist, 1987)。Vandevivere and Baveye (1992b) は、石英砂を充填したカラムに 4 種類の細菌をそれぞれ接種して透水係数の低下を測定したところ、粘着物質を生成する種の細菌を接種したカラムにおいて、最も著しい透水係数の低下が観察されることを示した。Jiang and Matsumoto (1995) は、Arenosol, Andosol, Fluvisol の 3 種類の試料に、汚水の二次処理水を 1 日 100 ml 供給して透水係数を低下させ土の薄片試料を蛍光顕微鏡観察し、目詰まり物質として懸濁物質、粘土、微生物細胞、そして代謝生成物質 (多糖類) を観察した。

バイオクロッキング現象の原因となる微生物活動は

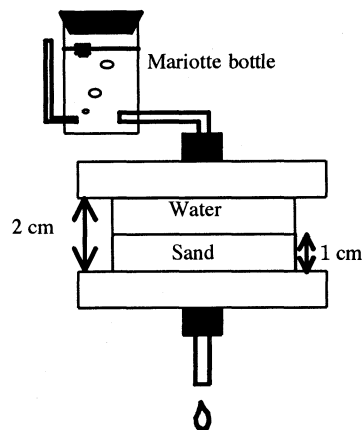


Fig.1 カラム実験装置

Diagram of the permeameter

温度条件に依存する。細菌の最適生育温度は種によって異なり、温度環境によって細菌の数が増えるばかりでなく、生育する細菌群も温度にともなって変化する。土壤中では 25℃から 35℃に最適生育温度を持つ中温細菌が主となっている (Alexander, 1977)。糸状菌の最適生育温度についても、同様に菌の種類によって様々なものがあるが、Davidson et al. (2003) が調べた 44 種の糸状菌においては、菌糸の成長速度が、25℃前後でピークを示した。本研究の目的は、このように温度条件によって微生物の活動が変わったときに、バイオクロッキング現象にどのような影響がみられるかを実験的に検証することである。

## 2. 実験

実験装置を Fig.1 に示す。直径 5cm、高さ 2cm のアクリルカラムにマリョット管を接続し、設定温度の恒温チャンバーの中に入れた。このカラムに、高さ 1cm 分の試料を充填して上部を湛水条件下で連続浸透できるようにした。排水部は恒温チャンバーの外側にチューブにて接続した。

このカラムに、豊浦砂を乾燥密度  $1.52 \text{ Mg m}^{-3}$  にて高さ 1cm となるように水中充填し、試料上端を湛水させた。このとき、間隙率は  $n=0.424$  と計算される。このカラムに、マリョット管から定水位にて  $100 \text{ g m}^{-3}$  グルコース溶液を連続浸透させた。

実験条件は、温度が 4 種類 (15℃, 20℃, 25℃, 30℃)、浸透期間が 3 種類 (4 日, 7 日, 10 日) の 12 通り、ただし 25℃, 10 日を除く 11 通りを行った。24 時間ごとに、フラックスが  $2.55 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$  となるように、動水勾配を調節することにより、準定フラックス条件とした。

透水係数の測定は、フラックスと動水勾配の測定により 24 時間ごとに行った。24 時間ごとに排水流量を測定し、そのときの排水流量から計算されるフラックスと、

マリオット管と排水部の高さから求められる動水勾配から、ダルシー式により透水係数を計算した。その直後に、フラックスが  $2.55 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$  となるように動水勾配を変えた。動水勾配の調節は、マリオット管の高さを変えることにより行った。

カラム浸透終了後に、カラムの上層、中層、下層それぞれ 3mm ほどの層から試料のサンプリングを行った。採取した試料は一時的に冷凍庫に保管した後に、順次以下の測定を行った。試料中の有機物量は、強熱減量法によって測定した。強熱減量の測定は、中野ら(1995)を参考に、炉乾した試料を  $800^\circ\text{C}$  の電気炉にて 6 時間熱したときの質量減少を測定した。さらに、微生物数を希釈平板法(土壌標準分析・測定法委員会, 1986)にて測定した。微生物の測定は、好気性細菌と糸状菌について行った。好気性細菌の測定にはエッグアルブミン寒天培地を、糸状菌の測定にはローズベンガル寒天培地を用いた。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 透水係数低下速度の温度依存性

透水係数の時間変化を Fig.2 に示す。25°C については 7 日浸透、それ以外の温度については 10 日浸透のデータを示す。いずれの温度条件においても、実験開始後 1 日で透水係数が上昇した。これは、試料中の封入空気が溶解した影響であり、Allison (1947) の第 2 フェーズである。実際に、浸透水を流し始めたとき、カラム内部に細かな気泡の付着が見られたが、1 日後には全く観察されなかった。

Seki et al. (1998) は、高さ 1cm のカラムにおいて、本研究の実験装置と同様の装置を用いた飽和連続浸透実験を行い、浸透開始後 1 日の間に気泡が溶解して気相率が低下することを示した。そして、Allison (1947) が、第 2 フェーズが 10~20 日ほどの間続くことがあるとしていることと比較して、気泡が溶解する期間が 1 日と非常に短い理由は、浸透フラックスが一定であれば、気泡が溶解するために要する時間は、カラム浸透装置の長さ按比例するためであるとした。

この 1 日間の気泡溶解による透水係数上昇の後、いずれのカラムにおいてもグラフは直線的に低下した。すなわち、透水係数が指数関数的に低下した。15°C においては透水係数の低下はほとんど見られなかった。20°C と 30°C の透水係数低下速度はほぼ等しく、25°C の時に最も透水係数低下速度が大きくなった。25°C の実験においては、7 日間で透水係数が 2 オーダー低下し、フラックスを一定に保つためのマリオット管の高さ調整が物理的に困難となったため、10 日間浸透実験を行わなかった。Fig.2 においては、25°C における 7 日間浸透実験、その他の温度における 10 日間浸透実験の透水係数を比較したが、他の実験条件のカラム、すなわち、25°C においては 4 日間浸透実験、その他の温度においては 4 日間と 7 日間

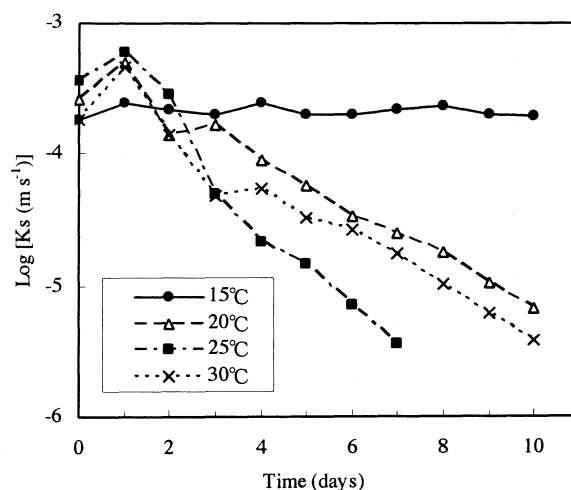


Fig.2 透水係数の時間変化  
Change in hydraulic conductivity

の浸透実験においても、同様に最初の一日間で透水係数が上昇し、その後指数関数的に低下するという傾向を示した。

#### 3.2 有機物量が透水係数に与える影響

クロッキングが起きた試料は、砂の粒子同士が微生物の代謝によって生成されたゲル状の有機物質によって結びついた状態となっていることが目視により観察された。カラム解体後に試料上部を葉さじですくって水につけたところ、土粒子は有機物の結合によって結びついたままで分散しなかった。一方、クロッキングが起きていない状態の砂を葉さじで水につけると、速やかに粒子が水中で分散する。この、砂の粒子どうしを結びつけている有機物の量を調べるために、強熱減量を測定した。

浸透期間の異なる同一温度条件試料の上層の強熱減量をつなげて、各温度の有機物変化量として Fig.3 に示す。25°C については、実験期間 10 日の測定をしなかったため 7 日間までのデータとなる。いずれの温度においても、時間とともに有機物量が増加する傾向を示した。15°C における有機物増加は非常にわずかだった。有機物増加の傾向は中層と下層においてもみられたが、上層が最も有機物量が多かった。ただし、30°C の実験においては 7 日から 10 日の間に有機物量がわずかに低下した。

この温度依存性を明確にするために、7 日間連続浸透カラムについて、温度による強熱減量の違いを示す (Fig.4)。上層が最も有機物量増加が大きく、有機物増加量は上層、中層、下層ともに 25°C において最大となった。この傾向は、透水係数低下と一致する。

このように、強熱減量、すなわち有機物の量が増加すると透水係数低下が著しいという傾向があることが明らかになったため、そのことをより明確に示すために、強熱減量と、相対透水係数、すなわちカラム解体直前の透水係数を透水係数の最大値 (1 日後の値) で割ったも

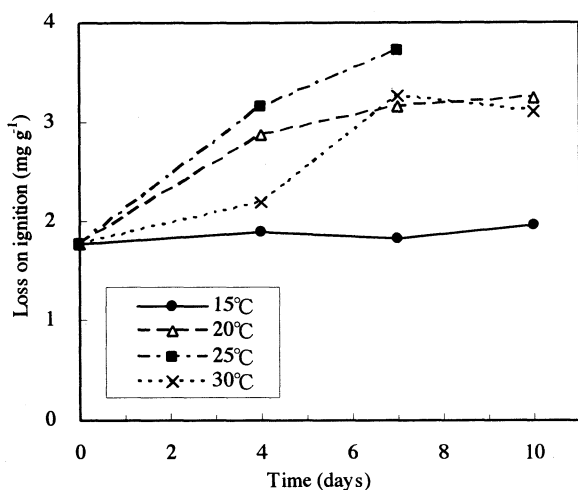


Fig.3 カラム上層の強熱減量  
Loss on ignition at the upper layer of sand

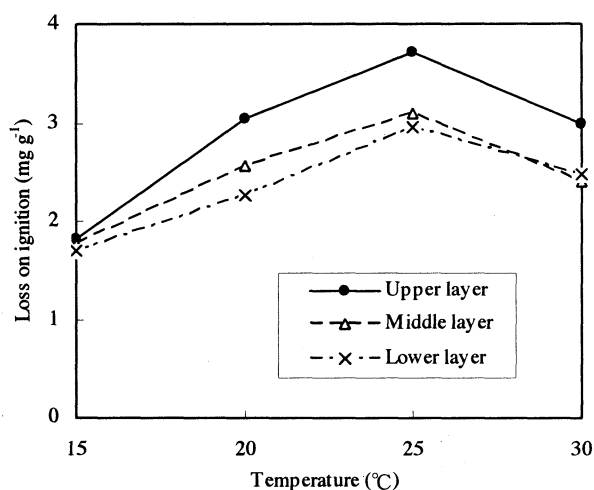


Fig.4 7日後の強熱減量時間変化  
Loss on ignition after 7 days of percolation

のとの関係を Fig.5 に示す。強熱減量の増加とともに、透水係数が指数関数的に低下する。強熱減量はカラム解体時に測定したため、有機物量の変化 (Fig.3) は透水係数の変化 (Fig.2) ほど連続的なデータは得られなかったが、以上の結果をまとめると(1)時間とともに有機物量が線形的に増加する (Fig.3)(2)有機物増加とともに透水係数が指数関数的に低下する (Fig.5)(3)したがって、透水係数が指数関数的に低下する (Fig.2) という説明が考えられる。そして、有機物増加速度には温度依存性があるため、透水係数低下速度にも温度依存性があることとなる。ただし、Fig.3 のデータから有機物量が線形的に増加するとするのは無理があるのではないかと、あるいは 30°C の 7 日から 10 日まで、有機物がわずかに低下するにも関わらず透水係数が低下するのはどうか、といった点についての疑問が残り、本実験の結果によって完全に説明されたということは、まだできない。

ここで、生成された有機物の間隙に占める体積を計算

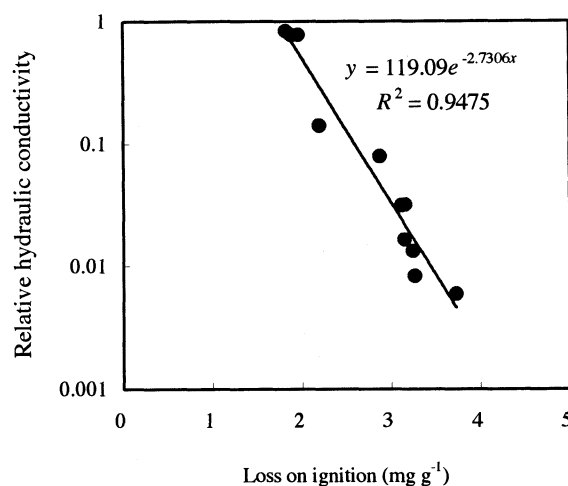


Fig.5 強熱減量と相対透水係数の関係  
Relationship between loss on ignition and relative hydraulic conductivity

してみる。強熱減量の最大値は  $3.72 \text{ mg g}^{-1}$  であり、このときに相対透水係数の値は  $0.00592$  であった。強熱減量の初期値は  $1.77 \text{ mg g}^{-1}$  であるから、 $1.95 \text{ mg g}^{-1}$  の有機物が生成されたことになる。乾燥密度  $1.52 \text{ Mg m}^{-3}$ 、有機物密度  $1.1 \text{ Mg m}^{-3}$ 、間隙率  $0.424$  とすると、この有機物の体積が間隙体積を占める割合は  $0.636\%$  となる。この程度の体積を目詰まりさせることで、透水係数の値を初期値の  $0.00592$  倍にまで低下させることは考えにくく、強熱減量の値から有機物の体積を見積もる方法については、検証の必要がある。たとえば、水による有機物の膨潤が有機物の体積を増加させている可能性が考えられるであろう。

Vandevivere and Baveye (1992b) は、有機物質 (粘着物質、多糖類) を生成する細菌が、粘着物質を生成しない細菌と比較して、より透水係数を低下させることを示した。その実験結果をふまえると、透水係数を低下させる原因はゲル状物質を生成する細菌であると解釈ができる可能性がある。この点について、微生物の測定結果から、より考察を進める。

### 3.3 細菌数と糸状菌数が透水係数に与える影響

カラム上層における細菌数および糸状菌数の変化を Fig.6 に示す。いずれの温度においても、時間とともに細菌数、糸状菌数ともに増加した。いずれの条件においても、中層、下層では上層と同様の増加傾向を示し、上層よりもわずかに中層が少なく、さらに下層がわずかに少ないといった強熱減量と同様の結果が得られた。

細菌の増加速度は  $15^\circ\text{C}$  が最も小さく、温度とともに増加し、 $30^\circ\text{C}$  で最大となった。したがって、 $30^\circ\text{C}$  で透水係数も最も低下すると予測される。しかし、実際には透水係数の低下は  $25^\circ\text{C}$  で最大となった。すなわち、細菌数の増加速度と透水係数の低下速度の温度依存性が対応し

なかった。ただし、細菌数が透水性の低下に関与しないと結論することはできない。本実験では、細菌数の温度依存性が土の透水性に影響するほど大きくはなかったと解釈すべきである。前節で提起した、透水係数を低下させる原因はゲル状物質を生成する細菌であるという解釈は、ここでも否定できない。本実験系において、どのような細菌群がゲル状物質の生成に寄与したか、そしてそれらの細菌群がどのような特性を持つか、といった細菌に関するより詳細な分析については、今後の課題である。

糸状菌増加速度は 25℃でピークを示した。これは、Davidson et al. (2003)の結果と一致する。透水係数低下速度が 25℃において最も著しかったため、糸状菌増加速度と傾向が一致する。このことは、糸状菌の菌糸がクロッキングに関与しているという Seki et al. (1996, 1998)の実験結果に、より強い論拠を与えるものである。そこで、前節で示したように、ゲル状の有機物質（あるいは有機物質を生成する細菌）が透水係数低下の原因なのか、それとも糸状菌が透水係数低下の原因なのか、という点に関する考察を進める。Seki et al. (1998) は、細菌殺菌剤、糸状菌殺菌剤添加実験により、バイオクロッキングの現象は単独の因子のみで起きるのではなく、複数の要因が複雑に結びついて起きる現象であることを示した。本実験においても、有機物質の増加と糸状菌数の増加は、両者がともに透水係数低下に寄与する複合要因現象であると考えることができる。両者の寄与の度合いをより詳細に明らかにするためには、細菌細胞、糸状菌の菌糸、有機物質の体積増加と、透水係数の低下の関係を理論的に体系立てる必要があるが、既往の研究では 1 章で示したように細菌の増殖に関する理論が提起されているだけである。糸状菌の菌糸が増殖したときに、間隙をどのように閉塞し、透水係数をどの程度低下させるかを明らかにすることは、今後の課題である。

#### 4. まとめ

飽和透水係数が微生物活動によって低下するバイオクロッキング現象の温度依存性が確認され、25℃で透水係数低下速度が最大となった。有機物の増加についても、25℃で増加速度が最大となるという結果が得られ、さらに有機物量と相対透水係数の間に指数関数的な関係が得られたことから、試料上面に付着したゲル状の有機物質が、透水係数を下げる役割を果たしていると考えることができた。エッグアルブミン培地によって生育する好気性細菌の数は 30℃において最大となり、ローズベンガル寒天培地に生育する糸状菌の数は 25℃において最大となった。すなわち、細菌数の増加速度は透水係数の低下速度の温度依存性と異なったが、糸状菌の増加速度は透水係数低下速度の温度依存性と同様の傾向を示した。このことから、糸状菌の活動が透水性低下に影響を

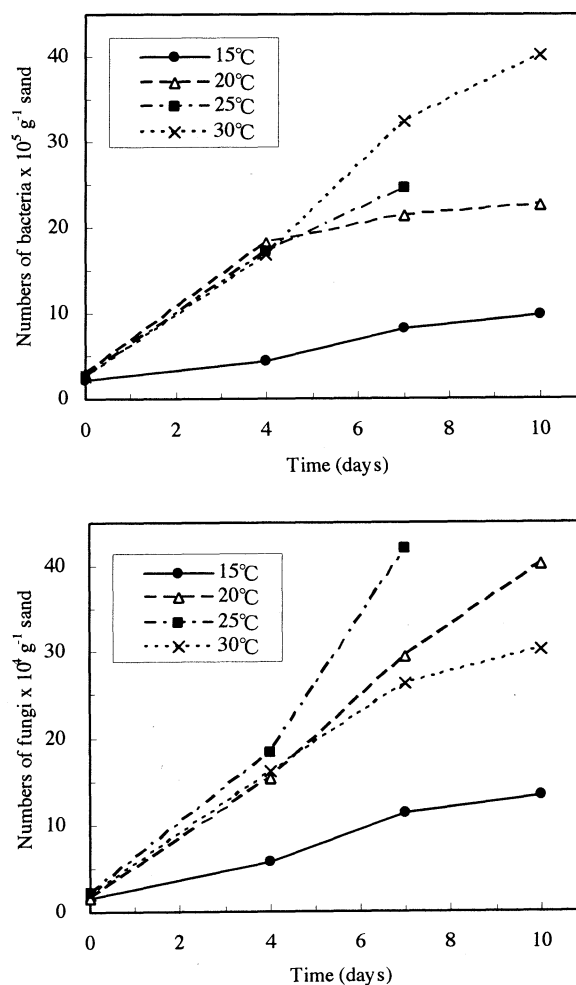


Fig.6 カラム上層の細菌数（上）と糸状菌数（下）

Numbers of bacteria (upper) and fungi (lower) of the upper layer of sand

及ぼしていると考えることができた。透水性低下は、細菌の増殖、それにもなう細菌が生成する有機物質の増加、そして糸状菌の増殖、という要因がそれぞれ透水性低下に関与する複合要因現象であり、それが透水性低下の温度依存性としてあらわれたと説明できた。

本研究では、グルコース水溶液による湛水飽和浸透という条件のもと、細菌、糸状菌の増殖速度、有機物生成速度、そして透水係数の低下速度について、温度依存性を明らかにすることができた。序論に記したような様々な現場において、この温度依存性がどのような形であられるかは、それぞれの現場の条件によって異なる。たとえば、水田やため池などの浸透速度が、温度によってどのように変化するか、季節変化はどのような形であられるか、そして温暖化によって影響を受けるのか、といった問題を研究する際に、本研究の結果が参考になるであろう。

謝辞：実験を遂行するにあたり、東京大学大学院農学生命科学研究科の藤川智紀博士(現農業工学研究所)と井本博美氏の協力

を得た。また、匿名の閲読者および編集委員から、論文の原稿に対して多くの有益なコメントをいただいた。ここに記して深く謝意を表する。

### 引用文献

- Ahmad, S., Aslam, M. and Shafiq, M. (1996) : Reducing water seepage from earthen ponds. *Agric. Water Man.*, **30**, 69-76.
- Alexander, M. (1977) : Introduction to soil microbiology, 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, p.22.
- Allison, L. E. (1947) : Effect of microorganisms on permeability of soil under prolonged submergence, *Soil Sci.*, **63**, 439-450.
- Basher, L. R. and Ross, C. W. (2001) : Role of wheel tracks in runoff generation and erosion under vegetable production on a clay loam soil at Pukekohe, New Zealand, *Soil Till. Res.*, **62**, 117-130.
- Battikhi, A. M. and Suleiman, A. A. (1999) : Temporal variation of infiltration rate in a vertisol under lentil-wheat rotation, *J. Agron. Crop Sci.*, **183**, 67-70.
- Baveye, P., Vandevivere, P., Hoyle, B. L., DeLeo, P. C. and Sanchez de Lozada, D. (1998) : Environmental impact and mechanisms of the biological clogging of saturated soils and aquifer materials, *Crit. Rev. Env. Sci. Tec.*, **28**(2), 123-191.
- Bielefeldt, A. R., McEachern, C. and Illangasekare, T. (2002) : Hydrodynamic Changes in Sand due to Biodegradation of Naphthalene and Decane, *J. Envir. Eng.*, **128**(1), 51-59.
- Cerda, A. (1999) : Seasonal and spatial variations in infiltration rates in badland surfaces under Mediterranean climatic conditions, *Water Res. Res.*, **35**, 319-328.
- Clement, T. P., Hooker, B. S. and Skeen, R. S. (1996) : Macroscopic models for predicting changes in saturated porous media properties caused by microbial growth, *Ground Water*, **34**(5), 934-942.
- Comiso, J. C. (2003) : Warming trends in the arctic from clear sky satellite observations, *J. Climate*, **16**, 3498-3510.
- Constantz, J., Thomas, C. L. and Zellweger, G., (1994) : Influence of diurnal variations in stream temperature on streamflow loss and groundwater recharge, *Water Res. Res.*, **30**, 3253-3264.
- Davidson, G., Phelps, K., Sunderland, K. D., Pell, J. K., Ball, B. V., Shaw, K. E. and Chandler, D. (2003) : Study of temperature-growth interactions of entomopathogenic fungi with potential for control of Varroa destructor (Acari: Mesostigmata) using a nonlinear model of poikilotherm development, *J. Appl. Microb.*, **94**, 816-825.
- Davis, S., Fairbank, W. and Weisheit, H. (1973) : Dairy waste ponds effectively self-sealing, *Trans. ASAE* **16**, 69-71.
- 土壤標準分析・測定法委員会編 (1986) : 土壤標準分析・測定法, 博友社, p.280-282.
- Gupta, R. P. and Swartzendruber, D. (1962) : Flow-associated reduction in the hydraulic conductivity of quartz sand, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **26**, 6-10.
- Jiang, Y. and Matsumoto, S. (1995) : Change in microstructure of clogged soil in soil wastewater treatment under prolonged submergence, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **41**, 207-213.
- Kamon, M., Zhang, H. Y., Katsumi, T., Sawa, N. (2002) : Redox effect on the hydraulic conductivity of clay liner, *Soils Found.*, **42**, 79-91.
- 中野政詩, 宮崎毅, 塩沢昌, 西村拓 (1995) : 土壤物理環境測定法, 東京大学出版会, 59-60.
- Ragusa, S. R., de Zoysa, D. S. and Rengasamy, P. (1994) : The effect of microorganisms, salinity and turbidity on hydraulic conductivity of irrigation channel soil, *Irrig. Sci.*, **15**, 159-166.
- Seki, K., Miyazaki, T. and Nakano, M. (1996) : Reduction of hydraulic conductivity due to microbial effects, 農土論集, **181**, 137-144.
- Seki, K., Miyazaki, T. and Nakano, M. (1998) : Effects of microorganisms on hydraulic conductivity decrease in infiltration, *Eur. J. Soil Sci.*, **49**(2), 231-236.
- Seki, K. and Miyazaki, T. (2001) : A mathematical model for biological clogging of uniform porous media, *Water Res. Res.*, **37**(12), 2995-2999.
- Siegrist, R. L. (1987) : Soil clogging during subsurface wastewater infiltration as affected by effluent composition and loading rate, *J. Environ. Qual.*, **16**, 181-187.
- Taylor, S. W., Milly, P. C. D. and Jaffe, P. R. (1990) : Biofilm growth and the related changes in the physical properties of a porous medium 2. Permeability, *Water Res. Res.*, **26**, 2161-2169.
- Vandevivere, P. and Baveye, P. (1992a) : Saturated hydraulic conductivity reduction caused by aerobic bacteria in sand columns, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **56**(1), 1-13.
- Vandevivere, P. and Baveye, P. (1992b) : Effect of bacterial extracellular polymers on the saturated hydraulic conductivity of sand columns, *Appl. Env. Microb.*, **58**, 1690-1698.
- Vandevivere, P., Baveye, P., Sanchez de Lozada, D. and DeLeo, P. (1995) : Microbial clogging of saturated soils and aquifer materials: evaluation of mathematical models, *Water Res. Res.*, **31**(9), 2173-2180.

[2004. 9. 15.受稿, 2005. 4. 8.閲読]

[この研究論文に対する公開の質疑あるいは討議(4,000字以内, 農業土木学会論文集編集委員会にて)は, 2005年12月24日まで受け付けます。]

## Temperature Dependence of Hydraulic Conductivity Decrease due to Biological Clogging under Poned Infiltration

SEKI Katsutoshi\*, KAMIYA Junichi\*\* and MIYAZAKI Tsuyoshi\*

\**Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan*

\*\**Hakuhodo Inc., Shibaura 3-4-1, Minato-ku, Tokyo 108-8088, Japan*

### Abstract

Decrease in hydraulic conductivity due to microbial biomass accumulation in soil pore, i.e., biological clogging or bioclogging, was studied in laboratory repacked sand columns, and temperature dependence of the bioclogging was observed. Glucose solution of 100 ppm was percolated continuously to laboratory sand columns in ponded condition, and hydraulic conductivity was measured every day. The temperature conditions were 15, 20, 25 and 30°C, and the experimental period was 4, 7 and 10 days. After each experiment, numbers of bacteria and fungi were counted by dilute plate counting method, and the amount of soil organic matter was estimated from the measurement of loss on ignition. Hydraulic conductivity did not change in 15°C column, while it decreased exponentially with time in 20, 25 and 30°C columns, and the rate of the decrease was largest at 25°C. Loss on ignition increased with time for all columns, and the rate of the organic accumulation was smallest at 15°C and largest at 25°C. Exponential relationship was found between the loss on ignition and the relative hydraulic conductivity, which suggests that slime material observed at the inlet of the columns was a primary cause of biological clogging. Increase in the numbers of bacteria was highest at 30°C, while increase in the numbers of fungi was highest at 25°C. This suggests that clogging of soil pore by fungal hyphae also plays important role in biological clogging, although in many studies fungal clogging tends to be neglected and only bacterial clogging has been studied.

**Key words :** *Bioclogging, Fungi, Temperature dependence, Hydraulic conductivity, Organic Matter*